

Japanese Appl. No.  
8-94552

[DOCUMENT] PATENT APPLICATION

[DOCKET NUMBER] POS55392

[FILING DATE] April 16, 1996

[SUBMITTED TO] Mr. Hisamitsu ARAI

Commissioner of the Japanese Patent Office

[INTERNATIONAL CLASSIFICATION] G02F 1/136

[TITLE OF THE INVENTION]

REFLECTIVE COLOR LIQUID CRYSTAL DEVICE

[NUMBER OF CLAIMS] 3

[INVENTOR]

[ADDRESS/DOMICILE]

c/o Seiko-Epson Corporation

3-3-5 Yamato, Suwa-shi, Nagano-ken

[NAME]

MATSUSHIMA, Toshiharu

[INVENTOR]

[ADDRESS/DOMICILE]

c/o Seiko-Epson Corporation

3-3-5 Yamato, Suwa-shi, Nagano-ken

[NAME]

OKUMURA, Osamu

[APPLICANT]

[ID NUMBER] 000002369

[NAME] Seiko-Epson Corporation

[REPRESENTATIVE] YASUKAWA, Hideaki

[AGENT]

[ID NUMBER] 100093388

[PATENT AGENT]

[NAME] SUZUKI, Kisaburo

[CONTACT] 3348-8531 EXT. 2610-2615

[ASSIGNED AGENT]

[ID NUMBER] 100095728

[PATENT AGENT]

[NAME] [KAMI/UE/UWA]YANAGI, Masayo

[PAYMENT OF FEE]

[PAYMENT METHOD] Prepayment

[PREPAYMENT LEDGER NO.] 013044

[AMOUNT PAID] 21,000 yen

[LIST OF DOCUMENTS]

[DOCUMENT] Specification 1

[DOCUMENT] Drawings 1

[DOCUMENT] Abstract 1

[POWER OF ATTORNEY NO.] 9005917

[PROOF REQUIREMENT] Required

[Document] Specification

[Title of the Invention] Reflective Color Liquid Crystal Device

[What Is Claimed Is]

[Claim 1] A reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a nematic liquid crystal twisted  $90^\circ$  sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, a polarizing plate disposed on the outside of each substrate, and a reflector, characterized in that

the product  $\Delta n \times d$  of the birefringence  $\Delta n$  of said liquid crystal and the thickness  $d$  of the liquid crystal layer is greater than  $0.34\mu\text{m}$  and less than  $0.52\mu\text{m}$ .

[Claim 2] A reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a liquid crystal sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, at least one polarizing plate, and a reflector, characterized in that

the thickness of the substrate on the side of the reflector is greater than or equal to  $200\mu\text{m}$ .

[Claim 3] A reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a liquid crystal sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, at least one polarizing plate, and a reflector, characterized in that

the drive surface area ratio is greater than or equal to 60% and less than or equal to 85%.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a reflective color liquid crystal device.

[Prior Art]

The displays mounted on small-scale portable information terminals such as a PDA (Personal Digital Assistant) at present are almost all monochrome reflective STN (Super Twisted

Nematic) liquid crystal. The need for a color display also is high, but in a conventional transmissive liquid crystal device, which requires a backlight, the power consumption is great, and it is not oriented toward portability. Accordingly, a liquid crystal device capable of color display using a reflective liquid crystal is strongly expected.

[0003]

The development of a reflective color liquid crystal device was begun in earnest from the mid-1980s. Before then, it was thought that with any type of liquid crystal mode, such as in Japanese Laid-Open Patent No. 50-80799, whether transmissive or reflective, color display was only possible by providing a primary color filter to it. Nevertheless, a transmissive color liquid crystal device does not function as a reflective color liquid crystal device by only providing a reflector. The number-one question is how to assure a practical brightness.

[0004]

The widely-used TN (Twisted Nematic) and STN modes make at least half of the light useless because a polarizing plate is necessary. In an article by Mr. Tatsuo Uchida, et al. (IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-33, No. 8, pp. 1207-1211 (1986)), a comparison of various types of liquid crystal devices was performed as shown in its Fig. 2, and as a result, the PCGH (Phase Change Guest Host) mode, which does not require a polarizing plate, was selected. Also, in Japanese Laid-Open Patent No. 5-241143 as well, the PDLC (Polymer Distribution Liquid Crystal) mode, which does not require a polarizing plate, was selected in order to implement a reflective color liquid crystal device. Thus, the conventional belief was that a liquid crystal display mode using a polarizing plate was not suitable for a reflective color liquid crystal device.

[0005]

[Problems the Invention Tries to Solve]

Nevertheless, because such a conventional reflective color liquid crystal device did not use a polarization plate, there was a problem that a high contrast could not be obtained, and as a result, color reproduction was poor. For example, in the article by Mr. Tatsuo Uchida, et al., it is understood from page 128, right column, line 19 that the designed value of the contrast ratio is 1:5. Also, in the aforementioned [sic] article by Mr. Seiichi Mitsui, et al., it is understood from page 439, line 22 that the contrast ratio was only 1:3. Since the contrast ratio of a conventional transmissive color liquid crystal device is

1:100 or more, a contrast ratio of 1:3 or 1:5 or less cannot compare. Also, whether the liquid crystal mode not using a polarizing plate is the PCGH mode or the PDLC mode, there are numerous problems in manufacturing and in the securing of reliability, and there is the big problem that it cannot be said to have been put to practical use yet.

[0006]

As a means to solve this problem, Japanese Laid-Open Patent No. 7-180481 proposed the combination of bright, light-tinted color filters with a liquid crystal mode using a polarizing plate. However, the  $\Delta n \cdot d$  of the reflective color liquid crystal device using the TN mode was set to  $1.34\mu\text{m}$ . This was in order to reduce the coloration during white display, but on the other hand, because the  $\Delta n \cdot d$  was great, the brightness was lost.

[0007]

Thus, the aim of the present invention is to provide a reflective color liquid crystal device that is bright and has a high contrast ratio by using a liquid crystal mode having a sufficiently high contrast in combination with bright, light-tinted color filters.

[Means to Achieve the Object]

The reflective color liquid crystal device as defined in Claim 1 is a reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a nematic liquid crystal twisted  $90^\circ$  sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, a polarizing plate disposed on the outside of each substrate, and a reflector, characterized in that the product  $\Delta n \cdot d$  of the birefringence  $\Delta n$  of said liquid crystal and the thickness  $d$  of the liquid crystal layer is greater than  $0.34\mu\text{m}$  and less than  $0.52\mu\text{m}$ .

[0009]

In the scope of the above  $\Delta n \cdot d$ , because the width of the visual angle is taken in combination with the height of the transmissivity in front, the light introduced from the periphery can be included efficiently. Therefore, a brighter display can be obtained. Furthermore, because a black display is made possible at low voltage, the contrast is improved. Also, although there is a small amount of coloration, this coloration can be eliminated by adjusting the color filters.

[0010]

Also, because a bright display can be obtained even under a spotlight, it is preferable that the  $\Delta x d$  be greater than or equal to  $0.40\mu\text{m}$ . Furthermore, the coloration can be substantially eliminated by making this less than or equal to  $0.48\mu\text{m}$ , which is more preferable. It is most preferable that the  $\Delta x d$  be  $0.42\mu\text{m}$ , having little coloration and being brightest. By taking this configuration, there is the feature of being able to obtain a bright, high contrast.

[0011]

The reflective color liquid crystal device as defined in Claim 2 is a reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a liquid crystal sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, at least one polarizing plate, and a reflector, characterized in that the thickness of the substrate on the side of the reflector is greater than or equal to  $200\mu\text{m}$ .

[0012]

In order to suppress the reduction of brightness, it is preferable that the reflective color liquid crystal device not be provided with a light-blocking layer between the pixels. However, the light leakage between these pixels contributes to the reduction of contrast.

[0013]

By making the thickness of the reflector greater than or equal to  $200\mu\text{m}$ , the light leakage between the pixels is reduced by the parallax between the dark display pixels or the signal lines, and it becomes possible to obtain a high contrast.

[0014]

The reflective color liquid crystal device as defined in Claim 3 is a reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a liquid crystal sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, at least one polarizing plate, and a reflector, characterized in that the drive surface area ratio is greater than or equal to 60% and less than or equal to 85%.

[0015]

Here, drive surface area ratio indicates the percentage of the area in which the liquid crystal is driven, within the area of the pixels excluding non-transparent sections such as the scan electrodes. In an ordinary liquid crystal device, it is desired that the drive surface area ratio be high in order to secure a contrast. However, when the lower substrate is thick, a sufficient contrast can be obtained if the drive surface area ratio is greater than or equal to 60%. This is an effect of the reflection of the adjacent pixels. Also, the brightness of a white display is substantially unchanged by using a reflective color liquid crystal device having a low drive surface area ratio. However, if the drive surface area ratio is less than or equal to 85%, there is an effect of being able to obtain a bright display because the display of each color can use the light leaking between other pixels.

[0016]

#### [Description of the Preferred Embodiments]

The present invention is explained below based on the drawings.

[0017]

#### (Embodiment 1)

Fig. 1 is a drawing showing the essential components of a reflective color liquid crystal device pertaining to the invention as defined in Claim 1 of the present invention. First the configuration is explained. 1 is an upper polarizing plate, 2 is an opposing substrate, 3 is liquid crystal, 4 is an element substrate, 5 is a lower polarizing plate, and 6 is a scattering reflector. On opposing substrate 2 are provided color filters 7 and opposing electrode (scanning line) 8, and on element substrate 4 are provided signal line 9, pixel electrode 10, and MIM element 11. Here, 1 and 2, 4 and 5, and 5 and 6 are drawn separated from each other, but this is in order to clarify the drawing, and in actuality they are adhered with glue. Also, the space between opposing substrate 2 and element substrate 4 is also drawn widely separated, but this is for the same reason, and in actuality there is only a gap of several  $\mu\text{m}$  to several tens of  $\mu\text{m}$ . Also, because Fig. 1 shows the essential components of a reflective color liquid crystal device, only  $3 \times 3 = 9$  dots are illustrated, but the present embodiment has a higher number of dots than that, and it may have  $480 \times 640 = 307,200$  dots or more.

[0018]

Opposing electrode 8 and pixel electrode 10 are composed of transparent ITO, and the signal line is formed with metallic Ta. The MIM element is of a structure having sandwiched an insulating film Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with metallic Ta and metallic Cr. Liquid crystal 3 is nematic liquid crystal twisted 90°, and the upper and lower polarizing plates have their polarizing axes perpendicular to each other. This is the common TN mode configuration. Also, color filters 7 are composed of the two colors, red ("R" in the drawing) and cyan ("C" in the drawing), being in a mutually complementary relationship, and they are arranged in stripes.

[0019]

Fig. 3 is a drawing showing the relationships among the direction of the orientation of the liquid crystal and the directions of the transmissive axes of the polarizing plates. 30 is the left-right direction (lengthwise direction) of the liquid crystal panel, 31 is the direction of the transmissive axis of the upper polarizing plate, 32 is the rubbing direction of the opposing substrate, 33 is the rubbing direction of the element substrate, and 34 is the direction of the transmissive axis of the lower polarizing plate. Here, the angle 40 formed by the rubbing direction of the opposing substrate and the left-right direction of the liquid crystal panel is set to 45°, the angle 41 formed by the direction of the transmissive axis of the upper polarizing plate and the rubbing direction of the opposing substrate is set to 90°, the twist angle 42 of the liquid crystal is set to right 90°, and the angle 43 formed by the direction of the transmissive axis of the lower polarizing plate and the rubbing direction of the element substrate is set to 90°. By being arranged in this manner, the molecules in the center of the liquid crystal layer stand up from the side of the observer (that is, the bottom of the drawing) when applied with voltage, and combined with the visual angle properties of the TN liquid crystal, a high-contrast display whereby reflections tend not to be seen becomes possible. Also, the placement whereby the transmissive axes of the polarizing plates are perpendicular to the rubbing directions of the adjacent substrates has less color variation according to the direction of the visual angle and is more preferable compared with a parallel placement.

[0020]

Here, a panel was fabricated whereby the birefringence  $\Delta n$  of the liquid crystal material was made 0.084, and the  $\Delta n \times d$  differs by changing the cell gap.

[0021]



Fig. 4 shows the  $\Delta n_{xd}$  and the reflectivity during white display. 51 is the reflectivity for each  $\Delta n_{xd}$  of the embodiment, and 52 is the reflectivity for each  $\Delta n_{xd}$  of a comparative example. For measurement, it was measured such that the light is introduced uniformly from all directions by using an integrating sphere. The reflectivity was taken as 100% of a standard white plate.

[0022]

As the  $\Delta n_{xd}$  becomes larger, the visual angle becomes narrower, that is, the display becomes darker because utilization of the light introduced diagonally decreases.

[0023]

In the embodiment, a display was obtained whereby the white was nearly colorless and there was substantially no change in coloration at any  $\Delta n_{xd}$  by adjusting the color filters so as to have a high transmissivity at the long wavelength end,

[0024]

Fig. 2 is a drawing showing the spectral properties of color filters 7 used when  $\Delta n_{xd} = 0.42\mu\text{m}$ . In Fig. 2, the horizontal axis is the light wavelength, the vertical axis is the transmissivity, 21 is the spectrum of the red filter, and 25 is the spectrum of the cyan filter. Spectroscopy was performed using a microspectrometer on the opposing substrate group, and the transmissivity of the glass substrate and transparent electrode was corrected to 100%. Below, the spectral properties of all the color filters were measured by this method. The red filter and the cyan filter regularly show a transmissivity of 50% or more within the wavelength range of 450nm to 660nm. Also, the average transmissivity with the same wavelength range was 72% for the red filter and 77% for the cyan filter.

[0025]

The display colors when  $\Delta n_{xd} = 0.72\mu\text{m}$  were red:  $x = 0.39$ ,  $y = 0.32$  for red, and cyan:  $x = 0.28$ ,  $y = 0.31$ , approximately.

[0026]

Below, the highest transmissivity when  $\Delta n_{xd} = 0.42$  is shown, and the reflectivity and contrast corresponding to a  $\Delta n_{xd}$  approximate to this are shown.

[0027]

[Table 1]

1	comparative example
2	embodiment
3	comparative example
4	reflectivity

[0028]

Thus, a bright, high-contrast display can be obtained by making the  $\Delta n \times d$  greater than or equal to  $0.34\mu\text{m}$  and less than or equal to  $0.52\mu\text{m}$ .

[0029]

Also, a bright display is obtained because the visual angle is wide. However, when the  $\Delta n \times d$  is less than  $0.40\mu\text{m}$ , the brightness in front is low, and under a spotlight it appears dark. Therefore, a  $\Delta n \times d$  greater than or equal to  $0.40\mu\text{m}$  is preferable. Also, coloration can be substantially eliminated by making the  $\Delta n \times d$  less than or equal to  $0.48\mu\text{m}$ , so a  $\Delta n \times d$  less than or equal to  $0.48\mu\text{m}$  is preferable. The most preferable  $\Delta n \times d$  is  $0.42\mu\text{m}$ , whereby the maximum brightness can be obtained.

[0030]

(Embodiment 2)

Fig. 1 is a drawing showing the essential components of a reflective color liquid crystal device pertaining to the invention as defined in Claim 1 of the present invention. First the configuration is explained. 1 is an upper polarizing plate, 2 is an opposing substrate, 3 is liquid crystal, 4 is an element substrate, 5 is a lower polarizing plate, and 6 is a scattering reflector. On opposing substrate 2 are provided color filters 7 and opposing electrode (scanning line) 8, and on element substrate 4 are provided signal line 9, pixel electrode 10, and MIM element 11. Here, 1 and 2, 4 and 5, and 5 and 6 are drawn separated from each other, but this is in order to clarify the drawing, and in actuality they are adhered with glue. Also, the space between opposing substrate 2 and element substrate 4 is also drawn widely separated, but this is for the same reason, and in actuality there is only a gap of several  $\mu\text{m}$  to several tens of  $\mu\text{m}$ . Also, because Fig. 1 shows the essential components of a reflective color liquid crystal device, only  $3 \times 3 = 9$  dots are

illustrated, but the present embodiment has a higher number of dots than that, and it may have  $480 \times 640 = 307,200$  dots or more.

[0031]

Opposing electrode 8 and pixel electrode 10 are composed of transparent ITO, and the signal line is formed with metallic Ta. The MIM element is of a structure having sandwiched an insulating film Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with metallic Ta and metallic Cr. Liquid crystal 3 is nematic liquid crystal twisted 90°, and the upper and lower polarizing plates have their polarizing axes perpendicular to each other. This is the common TN mode configuration. Also, color filters 7 are composed of the two colors, red ("R" in the drawing) and cyan ("C" in the drawing), being in a mutually complementary relationship, and they are arranged in stripes.

[0032]

Fig. 2 is a drawing showing the spectral properties of color filters 7. In Fig. 2, the horizontal axis is the light wavelength, the vertical axis is the transmissivity, 21 is the spectrum of the red filter, and 25 is the spectrum of the cyan filter. Spectroscopy was performed using a microspectrometer on the opposing substrate group, and the transmissivity of the glass substrate and transparent electrode was corrected to 100%. Below, the spectral properties of all the color filters were measured by this method. The red filter and the cyan filter regularly show a transmissivity of 50% or more within the wavelength range of 450nm to 660nm. Also, the average transmissivity with the same wavelength range was 72% for the red filter and 77% for the cyan filter.

[0033]

Fig. 3 is a drawing showing the relationships among the direction of the orientation of the liquid crystal and the directions of the transmissive axes of the polarizing plates. 30 is the left-right direction (lengthwise direction) of the liquid crystal panel, 31 is the direction of the transmissive axis of the upper polarizing plate, 32 is the rubbing direction of the opposing substrate, 33 is the rubbing direction of the element substrate, and 34 is the direction of the transmissive axis of the lower polarizing plate. Here, the angle 40 formed by the rubbing direction of the opposing substrate and the left-right direction of the liquid crystal panel is set to 45°, the angle 41 formed by the direction of the transmissive axis of the upper polarizing plate and the rubbing direction of the opposing substrate is set to 90°, the twist angle 42 of the liquid crystal is set to right 90°, and the angle 43 formed by the direction of

the transmissive axis of the lower polarizing plate and the rubbing direction of the element substrate is set to 90°. By being arranged in this manner, the molecules in the center of the liquid crystal layer stand up from the side of the observer (that is, the bottom of the drawing) when applied with voltage, and combined with the visual angle properties of the TN liquid crystal, a high-contrast display whereby reflections tend not to be seen becomes possible. Also, the placement whereby the transmissive axes of the polarizing plates are perpendicular to the rubbing directions of the adjacent substrates has less color variation according to the direction of the visual angle and is more preferable compared with a parallel placement.

[0034]

The  $\Delta n \times d$  of liquid crystal 3 was set to 0.42 $\mu\text{m}$ .

[0035]

Fig. 5 shows the contrast when the thickness of element substrate is changed. In Fig. 5, the horizontal axis is the thickness of element substrate 4, the vertical axis is the contrast, 71 is the aggregation of points indicating the contrast for each thickness of element substrate 4 in Embodiment 2, and 72 is the aggregation of points indicating the contrast for each thickness of element substrate 4 of a comparative example. The display colors for both during color display were red:  $x = 0.39$ ,  $y = 0.32$  and cyan:  $x = 0.28$ ,  $y = 0.31$ , approximately.

[0036]

A good contrast of greater than or equal to 1:15 was obtained by making the thickness of element substrate 4 greater than or equal to 200 $\mu\text{m}$ .

[0037]

(Embodiment 3)

Fig. 6 shows the properties of a reflective color liquid crystal device pertaining to Claim 3 of the present invention. Taking the same configuration as Embodiment 2, the relationships between the drive surface area ratio and contrast, and the drive surface area ratio and reflectivity when having changed the drive surface area ratio from 50% to 100% are shown. The horizontal axis takes the drive surface area ratio, the vertical axis takes the contrast and reflectivity, 91 is the contrast of the present embodiment, 92 is the contrast of a comparative example, 93 is the reflectivity during cyan display of the present embodiment,

and 94 is the reflectivity during cyan display of the comparative example.

[0038]

If the drive surface area ratio is greater than or equal to 60%, a good contrast of 1:5 or more can be obtained. Also, if the drive surface area ratio is less than or equal to 85%, a good brightness of greater than or equal to 23% in cyan display can be obtained.

[0039]

[Effect of the Invention]

As described above, according to the present invention, a reflective color liquid crystal device that is bright and has a high contrast can be provided.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

Fig. 1 is a drawing showing the essential components of a reflective color liquid crystal device in Embodiments 1, 2, and 3 of the present invention.

[Fig. 2]

Fig. 2 is a drawing showing the spectral properties of color filters of a reflective color liquid crystal device in Embodiments 1, 2, and 3 of the present invention.

[Fig. 3]

Fig. 3 is a drawing showing the relationships among each axis of a reflective color liquid crystal device in Embodiments 1, 2, and 3 of the present invention.

[Fig. 4]

Fig. 4 is a drawing showing the  $\Delta n \times d$  and the reflectivity during white display of a reflective color liquid crystal device in Embodiment 1 of the present invention.

[Fig. 5]

Fig. 5 is a drawing showing the relationship between the thickness of the element substrate and the contrast of a

reflective color liquid crystal device in Embodiment 2 of the present invention.

[Fig. 6]

Fig. 6 is a drawing showing the relationship between drive surface area ratio and contrast, and between drive surface area ratio and reflectivity, of a reflective color liquid crystal device pertaining to Claim 3 of the present invention.

[Description of the Symbols]

- 1 upper polarizing plate
- 2 opposing substrate
- 3 liquid crystal
- 4 element substrate
- 5 lower polarizing plate
- 6 scattering reflector
- 7 color filter
- 8 opposing electrode (scan line, scan electrode)
- 9 signal line
- 10 pixel electrode
- 11 MIM element
- 21 red filter spectrum
- 25 cyan filter spectrum
- 30 left-right direction (lengthwise direction) of liquid crystal panel
- 31 transmissive axial direction of upper polarizing plate
- 32 rubbing direction of upper substrate (or opposing substrate)
- 33 rubbing direction of lower substrate (or element substrate)
- 34 transmissive axial direction of lower polarizing plate
- 40 angle formed by 30 and 32
- 41 angle formed by 31 and 32
- 42 twist angle of liquid crystal
- 43 angle formed by 33 and 34
- 51 reflectivity corresponding to each  $\Delta n \times d$  of the embodiment of the present invention in Embodiment 1
- 52 reflectivity corresponding to each  $\Delta n \times d$  of the comparative example in Embodiment 1
- 71 contrast corresponding to each thickness of the element substrate of the embodiment of the present invention in Embodiment 1
- 72 contrast corresponding to each thickness of the element substrate of the comparative example in Embodiment 1
- 91 contrast corresponding to drive surface area ratio of Embodiment 3
- 92 contrast corresponding to drive surface area ratio of comparative example
- 93 reflectivity during cyan display corresponding to drive surface area ratio of Embodiment 3

94 reflectivity during cyan display corresponding to drive  
surface area ratio of comparative example

[Document]       Drawings

[Fig. 1]

[Fig. 2]

1     transmissivity

2     wavelength

[Fig. 3]

[Fig. 4]

1     reflectivity

[Fig. 5]

1     contrast

2     thickness of element substrate 4

[Fig. 6]

1     contrast

2     drive surface area ratio

3     reflectivity



[Document]        Abstract of the Disclosure

[Abstract]

[Object]    To provide a reflective color liquid crystal device that is bright and has a high contrast.

[Means to Achieve the Object]    \*\*\*

In a reflective color liquid crystal device, comprising a pair of opposing substrates having electrodes on the inside, a nematic liquid crystal twisted  $90^\circ$  sandwiched between said substrates, a means that drives the liquid crystal through said electrodes, at least two colors of color filters, a polarizing plate disposed on the outside of each substrate, and a reflector, the product  $\Delta n \times d$  of the birefringence  $\Delta n$  of said liquid crystal and the thickness  $d$  of the liquid crystal layer is set to  $0.42\mu\text{m}$ .

[Selected Drawing]    Fig. 1

整理番号 = P O S 5 5 3 9 2

【書類名】 特許願  
【整理番号】 P O S 5 5 3 9 2  
【提出日】 平成 0 8 年 0 4 月 1 6 日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G 0 2 F 1 / 1 3 6  
【発明の名称】 反射型カラー液晶装置  
【請求項の数】 3  
【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 松島 寿治

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 奥村 治

【特許出願人】

【識別番号】 0 0 0 0 0 2 3 6 9

【氏名又は名称】 セイコーエプソン株式会社

【代表者】 安川 英昭

【代理人】

【識別番号】 1 0 0 0 9 3 3 8 8

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 喜三郎

【連絡先】 3 3 4 8 - 8 5 3 1 内線 2 6 1 0 - 2 6 1 5

【選任した代理人】

【識別番号】 1 0 0 0 9 5 7 2 8

【弁理士】

【氏名又は名称】 上柳 雅誉

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 0 1 3 0 4 4

【納付金額】 2 1 0 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9 0 0 5 9 1 7

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 反射型カラー液晶装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対向する内面に電極を備えた一対の基板と、前記基板間に挟持され、略 90 度ねじれたネマチック液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも 2 色のカラーフィルタと、各基板の外側に配置した偏光板と、反射板とを有する反射型カラー液晶装置において、

前記液晶の複屈折率  $\Delta n$  と液晶層厚  $d$  との積  $\Delta n \times d$  が  $0.34 \mu m$  よりも大きく、 $0.52 \mu m$  よりも小さいことを特徴とする反射型カラー液晶装置。

【請求項 2】 対向する内面に電極を備えた一対の基板と、前記基板間に挟持された液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも 2 色のカラーフィルタと、少なくとも一枚の偏光板と、反射板と、を有する反射型カラー液晶装置において、

反射板側基板の厚さが  $200 \mu m$  以上であることを特徴とする反射型カラー液晶装置。

【請求項 3】 対向する内面に電極を備えた一対の基板と、前記基板間に挟持された液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも 2 色のカラーフィルタと、少なくとも一枚の偏光板と、反射板と、を有する反射型カラー液晶装置において、

駆動面積率が 60 % 以上 85 % 以下であることを特徴とする反射型カラー液晶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、反射型カラー液晶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

PDA (Personal Digital Assistant) のような小型携帯情報端末に搭載されているディスプレイは、現在のところ、ほとんどが

モノクロの反射型STN（スーパーツイステッドネマチック）液晶である。カラー表示に対するニーズも高いが、バックライトが必要な従来の透過型カラー液晶装置では、消費電力が大きく携帯用途に向いていない。従って、反射型でカラー表示ができる液晶装置が、強く期待されている。

【0003】

反射型カラー液晶装置の開発は、1980年代中頃から本格的に着手されたようである。それ以前は、例えば特開昭50-80799号公報にもあるように、どのような液晶モードでも、また透過型でも反射型でも、それに原色のカラーフィルタを設けさえすればカラー表示が出来ると考えられていた。しかしながら、透過型カラー液晶装置に反射板を設けただけでは反射型カラー液晶装置として機能しない。実用的な明るさを如何に確保するかが、一番の問題であった。

【0004】

一般的に用いられているTN（ツイステッドネマチック）モードやSTNモードは、偏光板を必要とするため、少なくとも光の半分を無駄にしている。反射型カラー液晶装置について報告している内田龍男氏らの論文（IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.ED-33, No.8, pp.1207-1211(1986)）では、そのFig. 2で各種液晶表示モードの明るさの比較を行っており、その結果、偏光板が要らないPCGH（相転移型ゲストホスト）モードを採用している。また特開平5-241143号公報でも、反射型カラー液晶装置を実現するために、偏光板が要らないPDL C（高分子分散型液晶）モードを採用している。このように、従来は、偏光板を用いる液晶表示モードは反射型カラー液晶表示に適さないと考えられていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、こうした従来の反射型カラー液晶装置は、偏光板を用いていないため、高いコントラスト比が得られず、その結果として色再現性も悪いという課題があった。例えば前述の内田龍男氏らの論文では、その1208ページ右欄19行目からコントラスト比の設計値が1：5であることがわかる。また、前述の三ツ井精一氏らの論文でも、その439ページ22行目からコントラスト比が

1 : 3 しかなかったことがわかる。従来の透過型のカラー液晶装置のコントラスト比は 1 : 1 0 0 以上であるから、1 : 3 や 1 : 5 のコントラスト比ではいかにも見劣りがする。また偏光板を使用しない液晶表示モードは、P C G H モードにしても、P D L C モードにしても、製造上、信頼性確保上、数々の課題があつて、未だ十分に実用化しているとは言えない点も、大きな問題であつた。

【 0 0 0 6 】

これを解決するものとして特願平 7 - 1 8 0 4 8 1 号では偏光板を用いる液晶表示モードと明るく淡い色調のカラーフィルタと組み合わせることが提案されている。しかし、T N を利用した反射型カラー液晶装置は  $\Delta n \times d$  が  $1.34 \mu m$  程度に設定されていた。これは白表示時の色付きを低減するためであるが、反面  $\Delta n \times d$  が大きいために明るさがそこなわれている。

【 0 0 0 7 】

そこで本発明の目的は、明るく淡い色調のカラーフィルタと組み合わせるに十分な高いコントラストを得る液晶表示モードを使用することで明るくコントラスト比が高い反射型カラー液晶装置を提供することにある。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 記載の反射型カラー液晶装置は、対向する内面に電極を備えた一対の基板と、前記基板間に挟持され、略 9 0 度ねじれたネマチック液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも 2 色のカラーフィルタと、基板の外側に配置した偏光板と、反射板とを有する反射型カラー液晶装置において、前記液晶の複屈折率  $\Delta n$  と液晶層厚  $d$  との積  $\Delta n \times d$  が  $0.34 \mu m$  よりも大きく、 $0.52 \mu m$  よりも小さいことを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

上記  $\Delta n \times d$  の範囲では正面での透過率の高さと、視角の広さをあわせ持っているために、周辺から入射する光を効率良く取り込む事が出来る。このためにより明るい表示が得られまた、この構成は低電圧での黒表示を可能とするためにコントラストも向上する。また、いくらか色付きは大きくなるが、カラーフィルタを調整することによりこの色付きは解消可能である。

## 【0010】

また、スポット光源下でも明るい表示を得るためには $\Delta n \times d$ が $0.40 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに $0.48 \mu\text{m}$ 以下にすることにより色付きをほぼなくすことが出来てより好ましい。最も好ましい $\Delta n \times d$ は色付きが少なく最も明るい $0.42 \mu\text{m}$ である。この構成を取ることで、明るく高いコントラストを得ることが出来るという特徴が有る。

## 【0011】

請求項2記載の反射型カラー液晶装置は、対向する内面に電極を備えた一对の基板と、前記基板間に挟持された液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも2色のカラーフィルタと、少なくとも一枚の偏光板と、反射板と、を有する反射型カラー液晶装置において、反射板側基板の厚さが $200 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

## 【0012】

反射型カラー液晶装置は明るさの低減を押さえるために画素間に遮光層を設けないことが好ましいが、この画素間の光のもれはコントラストの低減に影響を与える。

## 【0013】

反射板側基板の厚さを $200 \mu\text{m}$ 以上とすることにより、画素間の光のもれは暗表示の画素、もしくは信号線との間の視差により低減され、高いコントラストを得ることが可能となる。

## 【0014】

請求項3記載の反射型カラー液晶装置は、対向する内面に電極を備えた一对の基板と、前記基板間に挟持された液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも2色のカラーフィルタと、少なくとも一枚の偏光板と、反射板と、を有する反射型カラー液晶装置において、駆動面積率が60%以上85%以下であることを特徴とする。

## 【0015】

ここで駆動面積率は画素内の走査電極等の不透明な部分を除いた領域のうち液晶が駆動される領域の割合を示す。通常の液晶装置ではコントラストの確保のため

めに駆動面積率は高いことが望まれるが、下側基板の厚さが有る時は60%以上の駆動面積率があれば十分なコントラストを得ることが出来る。これは隣接画素の影の効果である。また低い駆動面積率の反射型カラー液晶装置を使用することで白表示の明るさはほとんど変化しないが、駆動面積率が85%以下であれば、各色の表示は他画素での漏れ光を利用することが出来るために明るい表示を得られるという効果がある。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下本発明を図面に基づいて説明する。

【0017】

(実施例1)

図1は本発明の請求項1記載の発明に係る反射型カラー液晶装置の要部を示す図である。まず構成を説明する。1は上側偏光板、2は対向基板、3は液晶、4は素子基板、5は下側偏光板、6は拡散反射板であり、対向基板2上にはカラーフィルタ7と、対向電極(走査線)8を設け、素子基板4上には信号線9、画素電極10、MIM素子11を設けた。ここで1と2、4と5、5と6は、離して描いてあるが、これは図を明解にするためであって、実際には糊で接着している。また対向基板2と素子基板4の間も広く離して描いてあるが、これも同様の理由からであって実際には数 $\mu\text{m}$ から十数 $\mu\text{m}$ 程度のギャップしかない。また、図1は反射型カラー液晶装置の要部を示しているため、 $3\times 3$ の9画素分しか示していないが、本実施例ではそれ以上の画素数を有し、 $480\times 640$ の307200画素又はそれ以上の画素を有する場合もある。

【0018】

対向電極8と画素電極10は透明なITOで形成し、信号線9は金属Taで形成した。MIM素子は絶縁膜Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を金属Taと金属Crで挟んだ構造である。液晶3は90度ねじれたネマチック液晶であり、上下の偏光板は互いに偏光軸が直交している。これは一般的なTNモードの構成である。またカラーフィルタ7は互いに補色の関係にある赤(図中「R」で示した)とシアン(図中「C」で示した)の2色から成っていて、ストライプ状に配列した。



## 【 0 0 1 9 】

図 3 は液晶配向方向、偏光板透過軸の関係を示す図である。3 0 は液晶パネルの左右方向（長手方向）であり、3 1 は上側偏光板の透過軸方向、3 2 が対向基板のラビング方向、3 3 が素子基板のラビング方向、3 4 が下側偏光板の透過軸方向である。ここで対向基板のラビング方向と液晶パネルの左右方向がなす角度 4 0 を  $45^{\circ}$  に、上側偏光板の透過軸方向と対向基板のラビング方向がなす角度 4 1 を  $90^{\circ}$  に、液晶のツイスト角 4 2 を右  $90^{\circ}$  に、下側偏光板の透過軸方向と素子基板のラビング方向がなす角度 4 3 を  $90^{\circ}$  に設定した。このように配置すると、液晶層中心の分子が電圧印加時に観察者側（即ち図の下側）から立ち上がり、TN液晶の視角特性とも相まって、高コントラストで影の見えにくい表示が可能になる。また偏光板の透過軸が隣接基板のラビング方向と直交する配置は、平行配置に比べて視角方向による色変化が少なく、より好ましい。

## 【 0 0 2 0 】

また液晶材料の複屈折率  $\Delta n$  を 0. 0 8 4 とし、セルギャップを変えて  $\Delta n \times d$  の異なるパネルを作製した。

## 【 0 0 2 1 】

図 4 に  $\Delta n \times d$  と白表示時の反射率の関係を示す。5 1 は実施例の各  $\Delta n \times d$  に対する反射率、5 2 は比較例の各  $\Delta n \times d$  に対する反射率を示す。測定には積分球を利用し、全方位から均等に光が入射するようにして測定した。反射率は標準白色板を 1 0 0 % に取った。以下の実施例でも同様の測定を行っている。

## 【 0 0 2 2 】

$\Delta n \times d$  が大きくなるほど視角が狭まり、すなわち斜めからの入射光の利用率が低下するために、表示が暗くなる。

## 【 0 0 2 3 】

実施例ではカラーフィルタを  $\Delta n \times d$  が  $1.1 \mu\text{m}$  程度で使用するものより長波長側で高い透過率を持つように調整することで、どの  $\Delta n \times d$  でも白は無色に近く、色付きもほとんど変らない表示を得た。

## 【 0 0 2 4 】

図 2 は  $\Delta n \times d = 0.42 \mu\text{m}$  時に使用したカラーフィルタ 7 の分光特性を示

す図である。図 2 の横軸は光の波長、縦軸は透過率であり、2 1 が赤フィルタのスペクトル、2 5 がシアンフィルタのスペクトルを示している。スペクトルの測定は、顕微分光光度計を使用して対向基板単体で行い、ガラス基板と透明電極の透過率を 1 0 0 % に補正した。以下、カラーフィルタの分光特性は全てこの方法により測定した。赤フィルタもシアンフィルタも、4 5 0 n m から 6 6 0 n m の波長範囲で、常に 5 0 % 以上の透過率を示している。また同じの波長範囲での平均透過率は、赤フィルタが 7 2 % 、シアンフィルタが 7 7 % であった。

## 【 0 0 2 5 】

$\Delta n \times d = 0.42 \mu m$  の時の表示色は、赤表示時に  $x = 0.39$ 、 $y = 0.32$ 、シアンが  $x = 0.28$ 、 $x = 0.31$  付近であり、色を認識するに十分であった。

## 【 0 0 2 6 】

$\Delta n \times d$  が  $0.42 \mu m$  の時にもっとも高い透過率を示しており、この付近の  $\Delta n \times d$  に対応する反射率とコントラストを以下に示す。

【 0 0 2 7 】

【表 1】

	$\Delta n \times d$ ( $\mu m$ )	反射率 (%)
比較例	0.30	20.8
	0.32	22.2
	0.34	23.2
実施例	0.36	23.7
	0.38	24.1
	0.40	24.3
	0.42	24.3
	0.44	24.2
	0.46	24.0
	0.48	23.9
	0.50	23.5
比較例	0.52	23.2
	0.54	22.9
	0.56	22.7

【 0 0 2 8 】

このように、 $\Delta n \times d$  が 0.34  $\mu m$  よりも大きく、0.52  $\mu m$  よりも小さくすることで明るさと高いコントラストを得られる。

【 0 0 2 9 】

また視角が広いために明るい表示が得られているが、 $\Delta n \times d$  が 0.40  $\mu m$  より小さい時には正面方向の明るさが低いためにスポット光源下で暗く見えるため、 $\Delta n \times d$  は 0.40  $\mu m$  以上の方が好ましい。また、0.48  $\mu m$  以下にすることにより色付きをほぼなくすることができるため、 $\Delta n \times d$  は 0.48  $\mu m$  以下であることがより好ましい。最も好ましい  $\Delta n \times d$  は最大の明るさが得られる 0.42  $\mu m$  である。

## 【 0 0 3 0 】

## (実施例 2)

図 1 は本発明の請求項 1 記載の発明に係る反射型カラー液晶装置の要部を示す図である。まず構成を説明する。1 は上側偏光板、2 は対向基板、3 は液晶、4 は素子基板、5 は下側偏光板、6 は拡散反射板であり、対向基板 2 上にはカラーフィルタ 7 と、対向電極（走査線） 8 を設け、素子基板 4 上には信号線 9、画素電極 10、MIM 素子 11 を設けた。ここで 1 と 2、4 と 5、5 と 6 は、離して描いてあるが、これは図を明解にするためであって、実際には糊で接着している。また対向基板 2 と素子基板 4 の間も広く離して描いてあるが、これも同様の理由からであって実際には数  $\mu\text{m}$  から十数  $\mu\text{m}$  程度のギャップしかない。また、図 1 は反射型カラー液晶装置の要部を示しているため、 $3 \times 3$  の 9 画素分しか示していないが、本実施例ではそれ以上の画素数を有し、 $480 \times 640$  の  $307200$  画素又はそれ以上の画素を有する場合もある。

## 【 0 0 3 1 】

対向電極 8 と画素電極 10 は透明な ITO で形成し、信号線 9 は金属 Ta で形成した。MIM 素子は絶縁膜 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を金属 Ta と金属 Cr で挟んだ構造である。液晶 3 は 90 度ねじれたネマチック液晶であり、上下の偏光板は互いに偏光軸が直交している。これは一般的な TN モードの構成である。またカラーフィルタ 7 は互いに補色の関係にある赤（図中「R」で示した）とシアン（図中「C」で示した）の 2 色から成っていて、ストライプ状に配列した。

## 【 0 0 3 2 】

図 2 はカラーフィルタ 7 の分光特性を示す図である。図 2 の横軸は光の波長、縦軸は透過率であり、21 が赤フィルタのスペクトル、25 がシアンフィルタのスペクトルを示している。スペクトルの測定は、顕微分光光度計を使用して対向基板単体で行い、ガラス基板と透明電極の透過率を 100% に補正した。以下、カラーフィルタの分光特性は全てこの方法により測定した。赤フィルタもシアンフィルタも、 $450\text{nm}$  から  $660\text{nm}$  の波長範囲で、常に 50% 以上の透過率を示している。また同じの波長範囲での平均透過率は、赤フィルタが 72%、シアンフィルタが 77% であった。

## 【 0 0 3 3 】

図 3 は液晶配向方向、偏光板透過軸の関係を示す図である。3 0 は液晶パネルの左右方向（長手方向）であり、3 1 は上側偏光板の透過軸方向、3 2 が対向基板のラビング方向、3 3 が素子基板のラビング方向、3 4 が下側偏光板の透過軸方向である。ここで対向基板のラビング方向と液晶パネルの左右方向がなす角度 4 0 を  $45^{\circ}$  に、上側偏光板の透過軸方向と対向基板のラビング方向がなす角度 4 1 を  $90^{\circ}$  に、液晶のツイスト角 4 2 を右  $90^{\circ}$  に、下側偏光板の透過軸方向と素子基板のラビング方向がなす角度 4 3 を  $90^{\circ}$  に設定した。このように配置すると、液晶層中心の分子が電圧印加時に観察者側（即ち図の下側）から立ち上がり、TN液晶の視角特性とも相まって、高コントラストで影の見えにくい表示が可能になる。また偏光板の透過軸が隣接基板のラビング方向と直交する配置は、平行配置に比べて視角方向による色変化が少なく、より好ましい。

## 【 0 0 3 4 】

液晶 3 の  $\Delta n \times d$  は  $0.42 \mu m$  に設定した。

## 【 0 0 3 5 】

図 5 に素子基板 4 の厚さを変えた時のコントラストを示す。図 5 において横軸は素子基板 4 の厚さ、縦軸はコントラスト、7 1 は実施例 2 における各素子基板 4 の厚さに対するコントラストを示す点の集まり、7 2 は比較例における各素子基板 4 の厚さに対するコントラストを示す点の集まりである。色表示時の表示色はいずれも赤表示時には  $x = 0.39$ 、 $y = 0.32$ 、シアンが  $x = 0.28$ 、 $x = 0.31$  付近であった。

## 【 0 0 3 6 】

素子基板 4 の厚さを  $200 \mu m$  以上とすることにより、1 : 15 以上の良好なコントラストを得た。

## 【 0 0 3 7 】

## (実施例 3)

図 6 は本発明の請求項 3 に係る反射型カラー液晶装置の特性を示す。実施例 2 と同様の構成をとり、駆動面積率を 50 % から 100 % に変えた時の、駆動面積率とコントラスト、及び駆動面積率と反射率の関係を示している。横軸に駆動面

積率、縦軸にコントラストと反射率をとり、91は本実施例のコントラスト、92は比較例のコントラスト、93は本実施例のシアン表示時の反射率、94は比較例のシアン表示時の反射率である。

【0038】

60%以上の駆動面積率があれば1:5以上の良好なコントラストを得ることが出来、85%以下の駆動面積率が有ればシアン表示で23%以上の良好な明るさを得ることが出来る。

【0039】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、明るくコントラスト比が高い反射型カラー液晶装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例1、2、3における反射型カラー液晶装置の構造の要部を示す図である。

【図2】

本発明の実施例1、2、3における反射型カラー液晶装置のカラーフィルタの分光特性を示す図である。

【図3】

本発明の実施例1、2、3における反射型カラー液晶装置の各軸の関係を示す図である。

【図4】

本発明の実施例1における反射型カラー液晶装置の液晶の $\Delta n \times d$ と反射率の関係を示す図である。

【図5】

本発明の実施例2における反射型カラー液晶装置の素子基板4の厚さとコントラストの関係を示す図である。

【図6】

本発明の実施例3における反射型カラー液晶装置の駆動面積率とコントラスト

、及び駆動面積率と反射率の関係を示す図である。

【符号の説明】

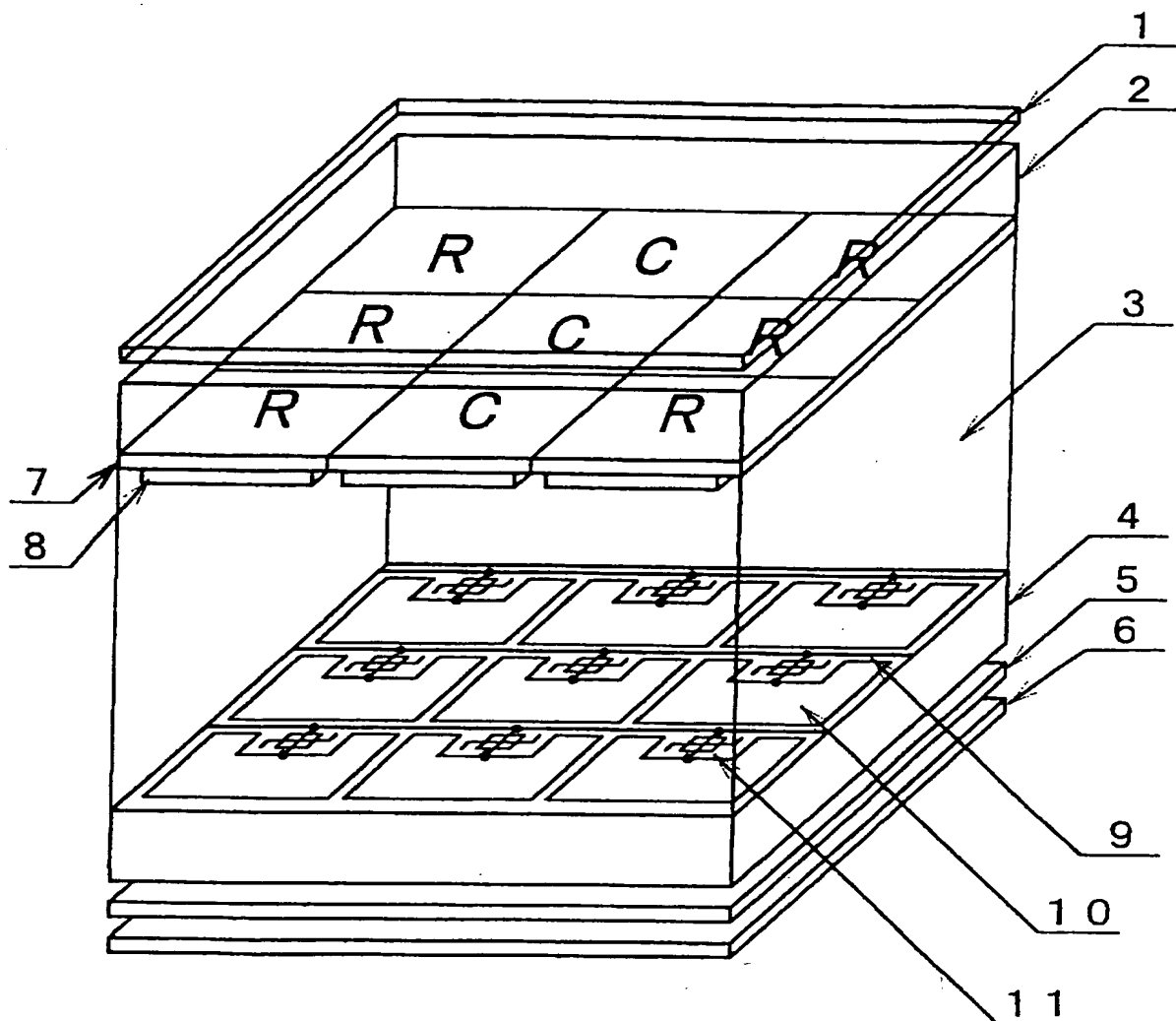
- 1 上側偏光板
- 2 対向基板
- 3 液晶
- 4 素子基板
- 5 下側偏光板
- 6 拡散反射板
- 7 カラーフィルタ
- 8 対向電極（走査線、走査電極）
- 9 信号線
- 10 画素電極
- 11 MIM素子
- 21 赤フィルタのスペクトル
- 25 シアンフィルタのスペクトル
- 30 液晶パネルの左右方向（長手方向）
- 31 上側偏光板の透過軸方向
- 32 上側基板（あるいは対向基板）のラビング方向
- 33 下側基板（あるいは素子基板）のラビング方向
- 34 下側偏光板の透過軸方向
- 40 30と32がなす角度
- 41 31と32がなす角度
- 42 液晶のツイスト角
- 43 33と34がなす角度
- 51 図4における本発明の実施例の各 $\Delta n \times d$ に対する反射率
- 52 図4における本発明の比較例の各 $\Delta n \times d$ に対する反射率
- 71 図5における本発明の実施例の各素子基板の厚さに対するコントラスト
- 72 図5における本発明の比較例の各素子基板の厚さに対するコントラスト
- 91 実施例3の駆動面積率に対するコントラスト

- 9 2 比較例の駆動面積率に対するコントラスト
- 9 3 実施例 3 の駆動面積率にたいするシアン表示時の反射率
- 9 4 比較例の駆動面積率に対するシアン表示時の反射率

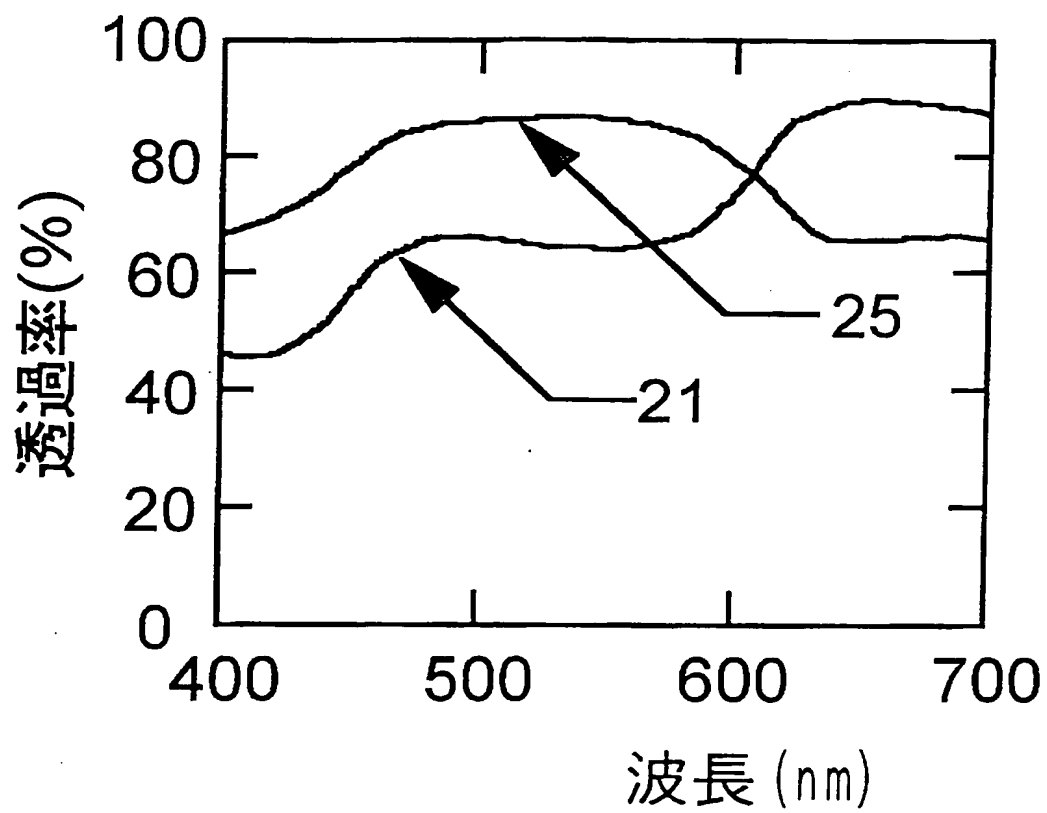


【書類名】 図面

【図 1】

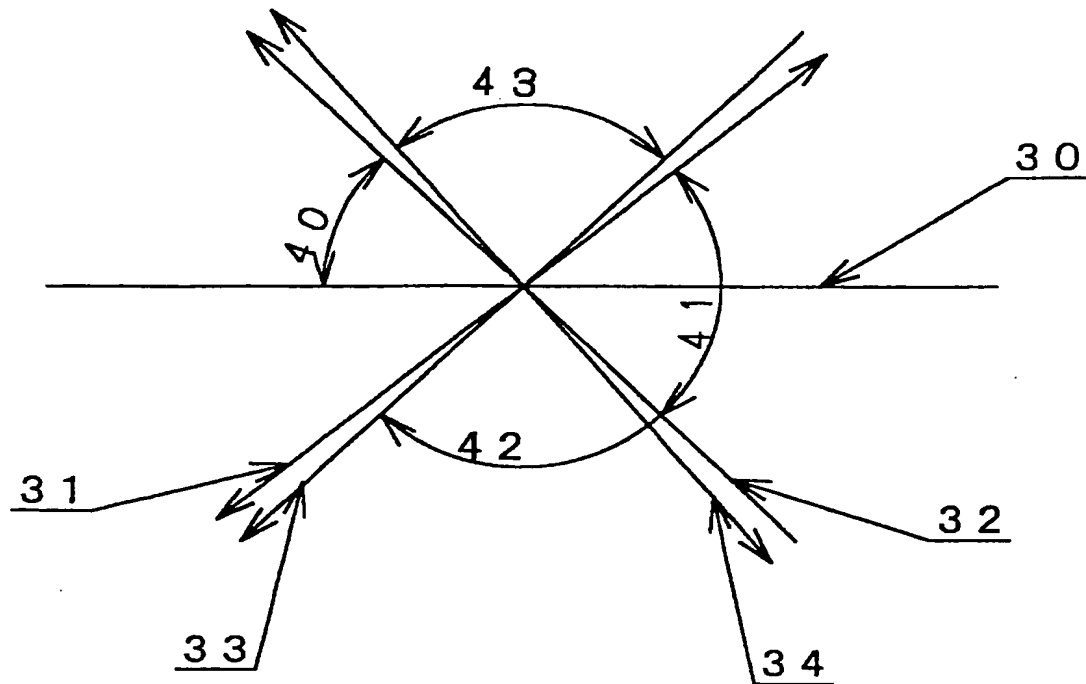


【図 2】

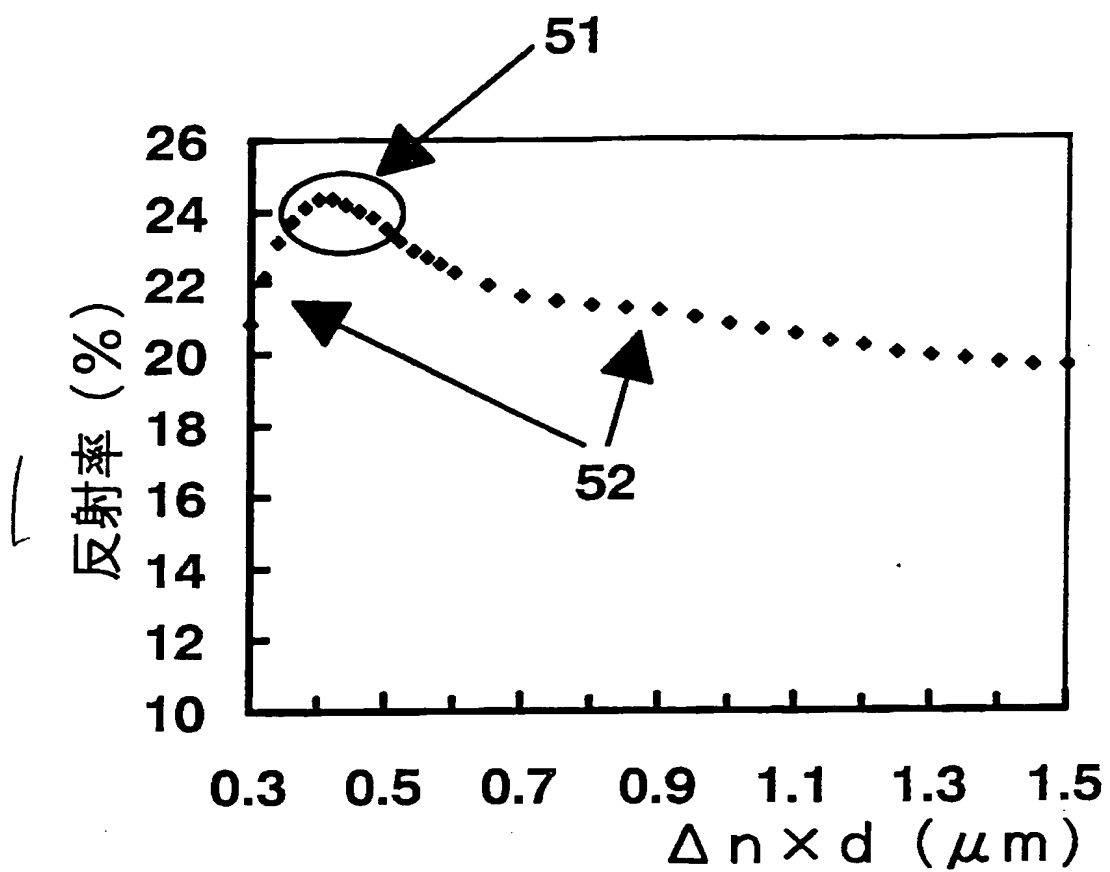


2

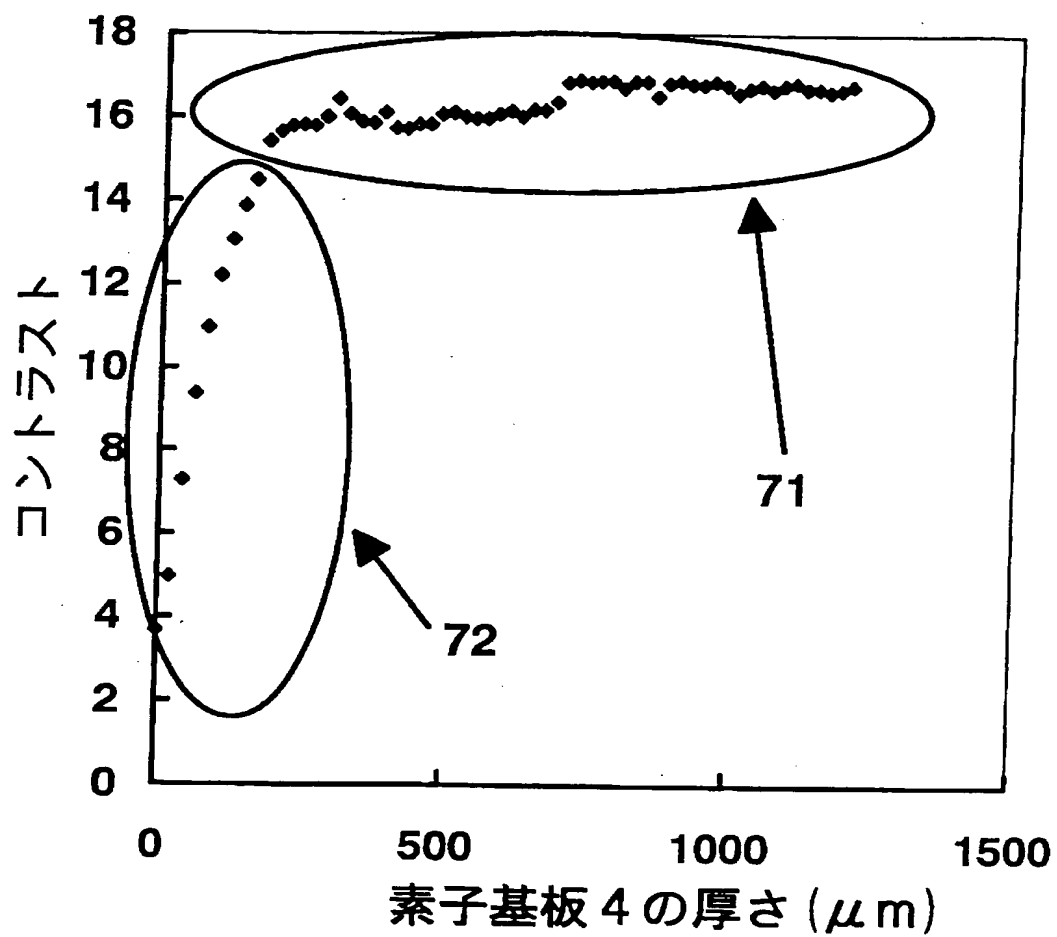
【図 3】



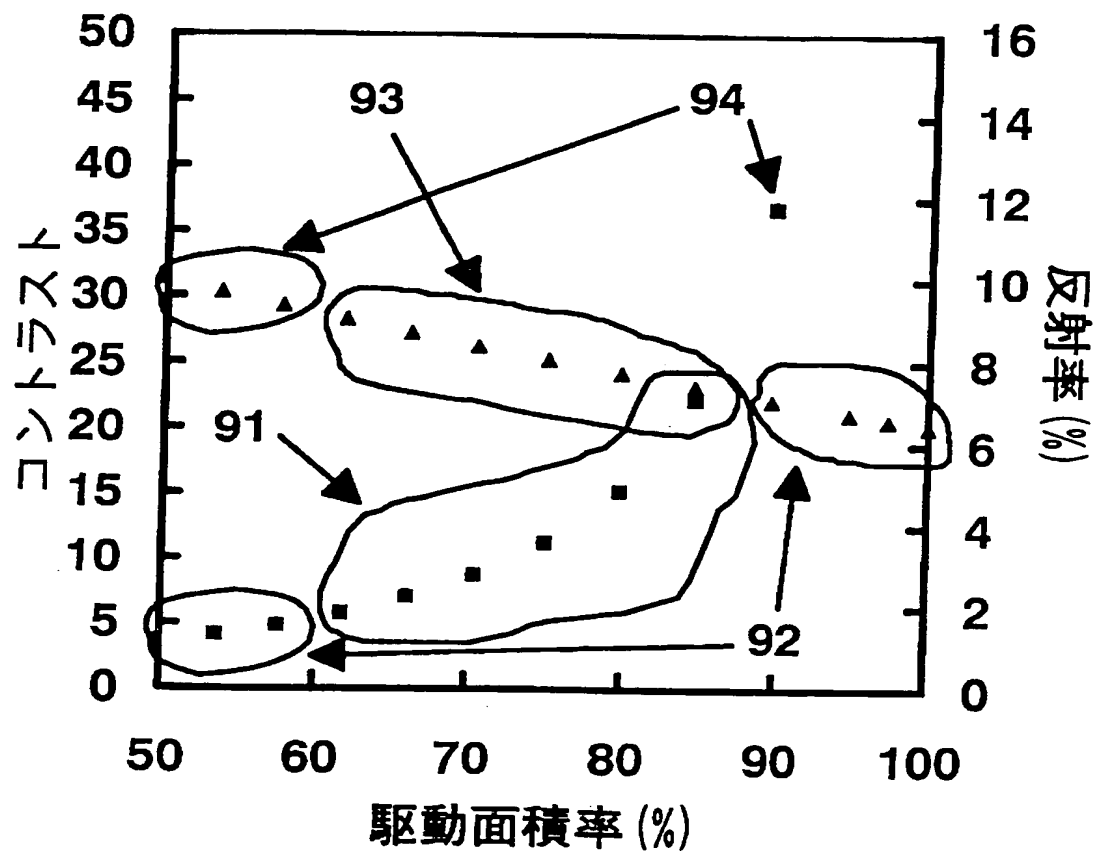
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 明るく高コントラストな反射型カラー液晶装置を提供すること。

【解決手段】 対向する内面に電極を備えた一对の基板と、前記基板間に挟持され、略90度ねじれたネマチック液晶と、前記電極を通して液晶を駆動する手段と、少なくとも2色のカラーフィルタと、基板の外側に各1枚配置した偏光板と、反射板と、を有する反射型カラー液晶装置において、液晶複屈折率 $\Delta n$ と、液晶層厚 $d$ の積 $\Delta n \times d$ を $0.42 \mu m$ に設定した。

【選択図】 図1